

QUEIMADAS, DESMATAMENTO E FRONTEIRA AGRÍCOLA NA AMAZÔNIA LEGAL (2010-2021): EVIDÊNCIAS PARA A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

BURNING, DEFORESTATION, AND THE AGRICULTURAL FRONTIER IN THE LEGAL AMAZON (2010-2021): EVIDENCE FOR ENVIRONMENTAL EDUCATION IN BASIC EDUCATION

QUEMAS, DEFORESTACIÓN Y LA FRONTERA AGRÍCOLA EN LA AMAZONÍA LEGAL (2010-2021): EVIDENCIAS PARA LA EDUCACIÓN AMBIENTAL EN LA EDUCACIÓN BÁSICA

Priscila Campos Santos¹
Francimayre Aparecida Perreira de Jesus²
Antonio Sidney Miranda Silva³

RESUMO: O estudo analisa a distribuição espacial e temporal dos focos de calor e do desmatamento na Amazônia Legal entre 2010 e 2021, considerando as sub-regiões Amazônia Equatorial, Arco do Desmatamento e Cerrado. Além de identificar padrões sazonais e áreas críticas, discute-se como esses resultados podem subsidiar práticas de educação ambiental na Educação Básica, ao fornecer dados territoriais que favorecem a leitura dos processos socioambientais da região. No período analisado, foram registrados 1.729.669 focos de calor, concentrados na Amazônia Equatorial (53,7%) e no Arco do Desmatamento (37%), com picos entre agosto e setembro. A análise de densidade de Kernel evidenciou hotspots associados à expansão da fronteira agrícola, no sul do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e Maranhão. O desmatamento apresentou crescimento contínuo no Arco do Desmatamento, enquanto a Amazônia Equatorial registrou aumento recente e o Cerrado tendência de redução. Os resultados reforçam a relevância de integrar dados reais e análises espaciais ao ensino de Ciências e Geografia, conforme orienta a BNCC, possibilitando abordagens interdisciplinares que articulam interpretação de gráficos, leitura de mapas e debates sobre governança ambiental. Assim, o estudo contribui tanto para o entendimento da dinâmica regional quanto para o fortalecimento de uma educação ambiental crítica, contextualizada e socialmente engajada.

Palavras-chave: Governança ambiental. Análise espacial. Práticas pedagógicas.

¹Pedagogia. Professora da Rede Municipal de Ensino. Prefeitura Municipal de Cáceres.

²Ciências Biológicas. Professora da Rede Estadual de Ensino. Rede Estadual de Ensino – Mato.

³Pedagogia. Professor da Rede Municipal de Ensino. Prefeitura Municipal de Cáceres.

ABSTRACT: The study analyzes the spatial and temporal distribution of fire hotspots and deforestation in the Legal Amazon between 2010 and 2021, considering the sub-regions of the Equatorial Amazon, the Arc of Deforestation, and the Cerrado. In addition to identifying seasonal patterns and critical areas, it discusses how these results can support environmental education practices in Basic Education by providing territorial data that enhance students' understanding of socio-environmental processes in the region. During the analyzed period, 1,729,669 fire hotspots were recorded, concentrated in the Equatorial Amazon (53.7%) and the Arc of Deforestation (37%), with peaks between August and September. Kernel density analysis revealed hotspots associated with the expansion of the agricultural frontier, particularly in southern Amazonas, Rondônia, Mato Grosso, and Maranhão. Deforestation showed continuous growth in the Arc of Deforestation, while the Equatorial Amazon experienced a recent increase and the Cerrado showed a decreasing trend. The results highlight the importance of integrating real data and spatial analyses into the teaching of Science and Geography, in line with Brazil's National Curriculum (BNCC), enabling interdisciplinary approaches that combine graph interpretation, map reading, and discussions on environmental governance. Thus, the study contributes both to understanding regional dynamics and to strengthening critical, contextualized, and socially engaged environmental education.

Keywords: Environmental governance. Spatial analysis. Pedagogical practices.

RESUMEN: El estudio analiza la distribución espacial y temporal de los focos de calor y de la deforestación en la Amazonia Legal entre 2010 y 2021, considerando las subregiones Amazonía Ecuatorial, Arco de la Deforestación y Cerrado. Además de identificar patrones estacionales y áreas críticas, se discute cómo estos resultados pueden subsidiar prácticas de educación ambiental en la Educación Básica, al proporcionar datos territoriales que favorecen la comprensión de los procesos socioambientales de la región. En el período analizado, se registraron 1.729.669 focos de calor, concentrados en la Amazonía Ecuatorial (53,7%) y en el Arco de la Deforestación (37%), con picos entre agosto y septiembre. El análisis de densidad Kernel evidenció hotspots asociados a la expansión de la frontera agrícola, especialmente en el sur de Amazonas, Rondônia, Mato Grosso y Maranhão. La deforestación mostró un crecimiento continuo en el Arco de la Deforestación, mientras que la Amazonía Ecuatorial registró un aumento reciente y el Cerrado una tendencia a la reducción. Los resultados refuerzan la relevancia de integrar datos reales y análisis espaciales en la enseñanza de Ciencias y Geografía, en consonancia con la BNCC, posibilitando enfoques interdisciplinarios que articulen la interpretación de gráficos, la lectura de mapas y los debates sobre gobernanza ambiental. Así, el estudio contribuye tanto a la comprensión de la dinámica regional como al fortalecimiento de una educación ambiental crítica, contextualizada y socialmente comprometida.

Palabras clave: Gobernanza ambiental. Análisis espacial. Prácticas pedagógicas.

INTRODUÇÃO

As queimadas e os focos de calor têm uma forte ligação com as mudanças no uso e na cobertura do solo, especialmente em áreas tropicais como a Amazônia Legal e suas proximidades (Rodrigues et al., 2021). Essas práticas tradicionalmente ligadas ao avanço da fronteira agrícola continuam sendo amplamente empregadas, mesmo com os graves impactos ambientais e socioeconômicos que provocam (Schwamborn, 2020). Os eventos recentes têm sido moldados por uma complexa combinação de fatores climáticos e pressões humanas, com destaque para o desmatamento acelerado e a utilização sistemática do fogo como ferramenta de

gestão agrícola, criando um cenário de múltiplos desafios em níveis regional e global (Aragão et al., 2018; Silvério et al., 2018).

A vasta biodiversidade da Amazônia Legal, mundialmente reconhecida pela sua vasta biodiversidade, é submetida a pressões crescentes devido ao aumento do desmatamento e à frequência de incêndios (Gonçalves, 2024). Esse processo aparece de maneira diferente em várias partes do país, mas regiões como a Amazônia Legal, Arco do desmatamento e o Cerrado se destacam (Santos, 2010). A variedade de plantas, animais e condições sociais dessas regiões faz com que o uso do fogo aconteça de maneiras diferentes (Morton et al., 2013). Sob essa perspectiva, a diversidade regional revela-se como um aspecto essencial na análise, ao evidenciar as interações entre as práticas agrícolas locais, as condições climáticas mutáveis e a eficácia das públicas direcionadas ao controle e à mitigação (Oliveira et al., 2021).

Os efeitos ambientais resultantes dessas queimadas são abrangentes e inter-relacionados a diminuição da biodiversidade, a liberação de gases de efeito estufa e as alterações nos ciclos hidrológicos figuram entre as consequências mais imediatas, afetando os serviços ecossistêmicos que sustentam a área (Brando et al., 2020). Acrescentam-se a isso os impactos na qualidade do ar, particularmente devido ao crescimento das concentrações de material particulado fino (PM_{2.5}). A exposição a essa partícula é vinculada a uma variedade de problemas de saúde humana, incluindo doenças respiratórias e cardiovasculares (Alencar et al., 2015; Sant'Anna et al., 2020).

7186

Além das implicações ambientais, a intensificação das queimadas e do desmatamento afeta diretamente o cotidiano das comunidades escolares da Amazônia Legal, seja pela piora da qualidade do ar, pelo aumento de doenças respiratórias ou pela necessidade de interrupção de atividades ao ar livre durante a estação seca. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) preconiza que o ensino de Ciências e Geografia deve promover a compreensão crítica das relações entre sociedade e natureza, articulando dados reais do território às práticas pedagógicas. Nesse sentido, compreender a dinâmica espacial e temporal dos focos de calor e do desmatamento oferece subsídios valiosos para fortalecer a educação ambiental nas escolas, aproximando estudantes dos processos socioambientais que impactam diretamente sua realidade (Dos Santos et al., 2025).

Apesar de o progresso tecnológico, especialmente nos sistemas de sensoriamento remoto, ter aumentado a capacidade de monitoramento dos focos de calor, ainda existem lacunas consideráveis na compreensão das dinâmicas espaciais e temporais ligadas às

queimadas. Neste estudo, propõe-se uma análise abrangente da distribuição e intensidade dos focos de calor e do desmatamento no período de 2010 a 2021, com foco nas especificidades das três sub-regiões ambientais delineadas Amazônia Equatorial, Arco do Desmatamento e Cerrado. Além de caracterizar as dinâmicas espaciais e temporais observadas, o estudo busca discutir como esses resultados podem subsidiar práticas de educação ambiental na Educação Básica, oferecendo elementos cartográficos, estatísticos e territoriais que contribuem para uma compreensão crítica, contextualizada e interdisciplinar dos processos em curso. A abordagem regionalizada adotada visa captar nuances locais essenciais para integrar conhecimento científico, território e formação cidadã no âmbito escolar.

METODOLOGIA

Área de estudo

Amazônia Legal e os estados limítrofes, abrangendo doze unidades federativas e aproximadamente 68% da extensão territorial brasileira (De Mello, 2006). Foram incluídos os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, integrantes da Amazônia Legal, bem como Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal. Para fins analíticos e de interpretação espacial, o território investigado foi segmentado em três recortes regionais sendo eles Amazônia Equatorial, Arco do Desmatamento e Cerrado.

7187

Origem e processamento dos dados

As informações relativas aos focos de calor foram obtidas a partir do Banco de Dados de Queimadas, mantido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os sensores MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), que estão presentes nos satélites Terra e Aqua, juntamente com o sensor VIIRS (Suite de Imagens Infravermelhas Visíveis), que está localizado no satélite Suomi NPP, são responsáveis pela detecção. Os dados referentes ao desmatamento foram obtidos na plataforma TerraBrasilis, igualmente associada ao INPE, a qual disponibiliza anualmente os mapeamentos produzidos pelo Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES). O PRODES utiliza imagens originadas do satélite Landsat, ou dispositivos de captura de resolução comparável, para reconhecer desmatamentos que ultrapassem 6,25 hectares, entendendo como tal qualquer eliminação de vegetação nativa, sem levar em conta a eventual utilização do solo que se segue.

Todas as atividades geoespaciais foram realizadas com base no Datum Sirgas 2000 como referência cartográfica. Os arquivos vetoriais foram obtidos no formato Shapefile (.shp) e processados no ambiente QGIS (versão 3.34). Inicialmente, aplicaram-se filtros temporais para selecionar os registros compreendidos entre janeiro de 2010 e dezembro de 2021. No que diz respeito aos focos de calor, utilizou-se a interpolação por Densidade de Kernel, com um raio de influência de 30 quilômetros e uma resolução espacial de 500 pixel, visando reconhecer padrões de distribuição e áreas de maior concentração ao longo do tempo. Em seguida, os dados de desmatamento foram sobrepostos aos mapas gerados, de modo a contextualizar espacialmente as regiões críticas.

Finalizado o tratamento geoespacial, os dados foram exportados em formato CSV e organizados no ambiente RStudio. As análises estatísticas contemplaram a agregação mensal e anual das ocorrências, bem como a consolidação por unidades federativas. Subsequentemente, os registros foram organizados de acordo com as três regiões definidas para a análise, possibilitando uma perspectiva abrangente das dinâmicas temporais e espaciais ao longo da série histórica em questão.

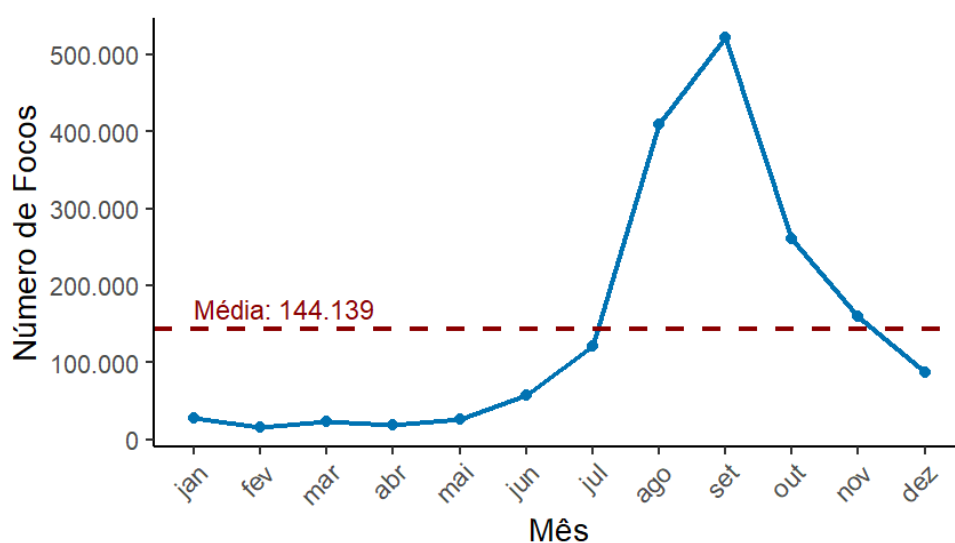
RESULTADOS

7188

A avaliação combinada das ocorrências de focos de calor entre 2010 e 2021 indicou um total de 1.729.669 casos, distribuídos entre as três áreas delimitadas na pesquisa. Dentre elas, a Amazônia Equatorial respondeu por 53,7% do volume total, configurando-se como a área com o maior número de registros ao longo do período analisado. Depois, a área do Arco do Desmatamento teve cerca de 37% das ocorrências e o Cerrado teve a menor participação no total avaliado.

Ao se examinar a distribuição mensal desses focos, evidencia-se um padrão sazonal bastante característico. Nos primeiros meses do ano, os índices tendem a permanecer baixos, apresentando um leve crescimento a partir de maio. Esse incremento se torna mais evidente nos meses de junho e julho, atingindo o auge entre agosto e setembro, período que congrega os maiores índices da série histórica. Após esse pico, nota-se uma queda gradual nas ocorrências, resultando em contagens mais baixas nos meses finais do ano, particularmente em novembro e dezembro. (Figura 1).

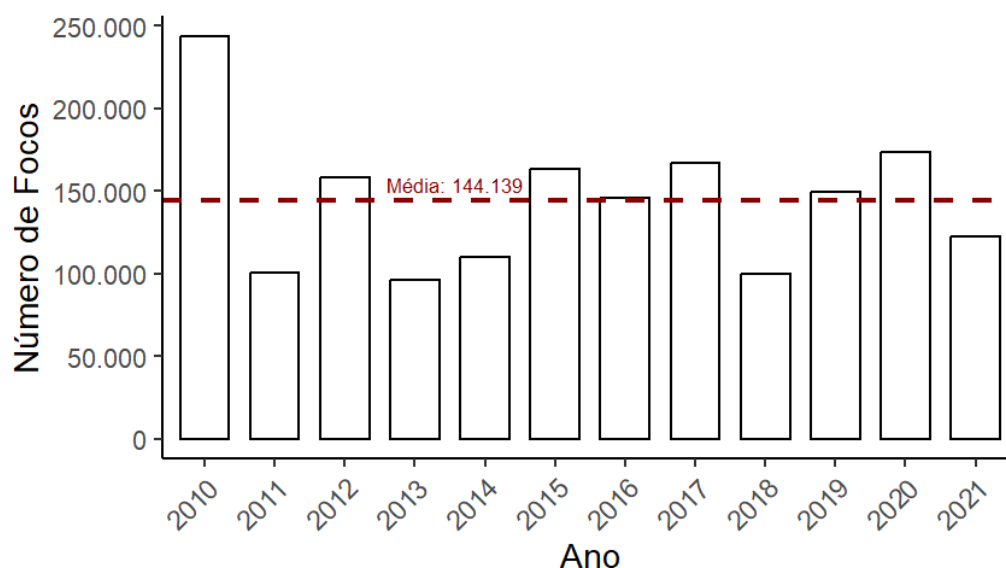
Figura 1. Variação sazonal dos focos de calor na Amazônia Legal e regiões do entorno, considerando a média mensal entre 2010 e 2021.



Ao longo da série histórica, os totais anuais oscilaram pronunciadamente. Durante o intervalo de 2010 a 2017, os totais anuais se mantiveram acima da média geral, exibindo variações relativamente estáveis em um patamar superior. A partir do ano de 2018, nota-se uma diminuição constante na frequência dos registros, os quais se encontram abaixo da média, evidenciando um intervalo de menor intensidade dos focos (Figura 2).

Figura 2. Distribuição anual da ocorrência de focos de calor na Amazônia Legal e áreas adjacentes no período de 2010 a 2021.

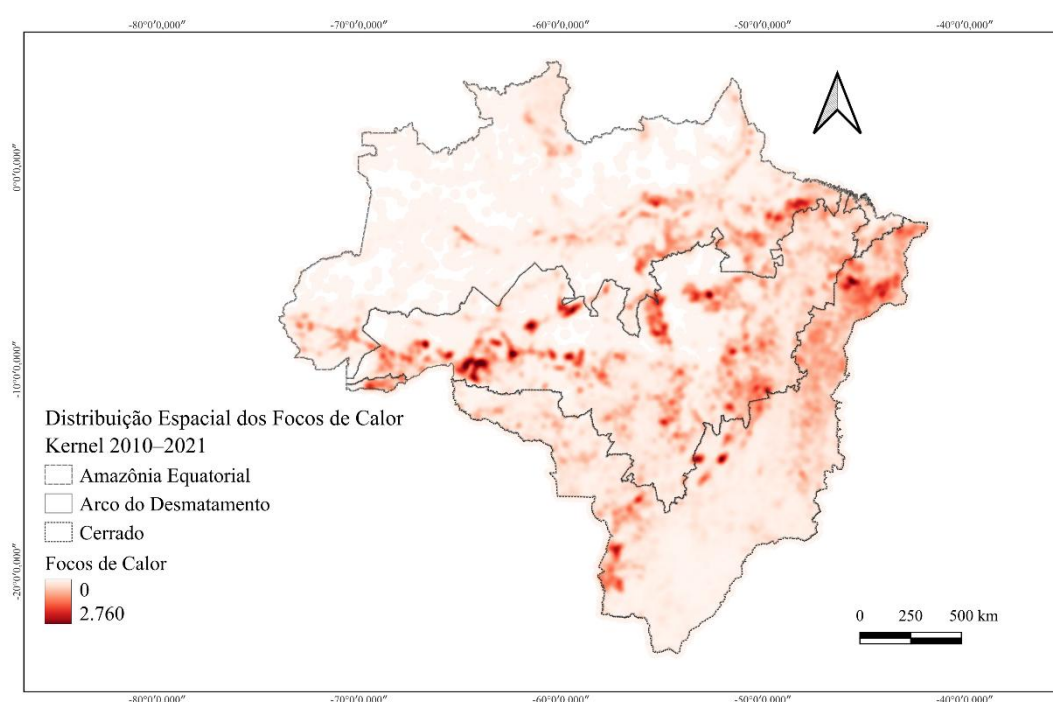
7189



A distribuição de calor mostra que os focos de calor estão mais concentrados na parte sul da Amazônia Legal. Isso é especialmente claro na área chamada Arco do Desmatamento. Nessa região, há muitas áreas com muitos registros de calor. A localização dos hotspots

acompanha a linha da fronteira agrícola, estendendo-se ao mesmo tempo pelo sul do Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e uma porção do Maranhão. No sentido leste-sul, nota-se uma mudança gradual de densidade, com manchas de intensidade moderada se projetando sobre o Cerrado e regiões de fronteira com a Amazônia Equatorial. (Figura 3).

Figura 3. Distribuição espacial da intensidade dos focos de calor na Amazônia Legal e regiões adjacentes (2010-2021), com base em estimativa de densidade Kernel.



Além da dinâmica dos focos de calor, é crucial considerar a trajetória do desmatamento nas mesmas áreas, pois esses fenômenos costumam se sobrepor espacial e temporalmente, contribuindo de forma sinérgica para a intensificação da degradação ambiental na Amazônia Legal e regiões adjacentes. De 2010 a 2021, o estudo dos dados sobre desmatamento mostrou diferenças grandes entre os triênios e entre as sub-regiões.

Em relação ao Arco do Desmatamento, observou uma predominância constante das taxas mais elevadas de desflorestamento durante todo o período examinado. O desmatamento atingiu 10.960,61 km² no período de 2010 a 2012, mantendo-se em níveis elevados nos triênios subsequentes, apesar de pequenas variações 10.102,56 km² de 2013 a 2015, 12.677,98 km² de 2016 a 2018, culminando em impressionantes 17.279,07 km² no último triênio (2019-2021). Esse

aumento, especialmente na fase mais recente, mostra que o desmatamento está crescendo em uma região que sempre sofreu com a expansão da agricultura e outras ações feitas por pessoas.

Na Amazônia Equatorial, os padrões de desmatamento demonstraram significativas variações ao longo dos triênios. A extensão desmatada atingiu 3.052,47 km² no primeiro triênio (2010-2012), sendo posteriormente reduzida para 2.463,03 km² no período seguinte (2013-2015). No entanto, esse declínio foi revertido entre 2016 e 2018, com um novo aumento para 2.949,5 km², atingindo o pico de 4.609,32 km² no triênio mais recente (2019-2021). Embora os números sejam menores do que os do Arco do Desmatamento, o aumento grande no final da série é notável.

Em contrapartida, o Cerrado percorreu um percurso oposto, mostrando uma queda contínua nas áreas desmatadas ao longo dos anos. A extensão caiu de 5.138,36 km² no triênio inicial (2010-2012) para 4.554,62 km² (2013-2015), posteriormente para 2.607,33 km² (2016-2018) e, por fim, para 2.605,12 km² no período de 2019 a 2021.

DISCUSSÃO

A correlação entre os focos de calor e o desmatamento na Amazônia Legal revela uma dinâmica complexa, influenciada por um conjunto de fatores interconectados variações climáticas sazonais, métodos produtivos regionais, permanência de fraquezas institucionais e forças econômicas de dimensão global. No período de 2010 a 2021, foi possível identificar uma sazonalidade acentuada nas queimadas, com incidência máxima nos meses de agosto e setembro. Esse comportamento demonstra não apenas a intensificação do período de estiagem, mas também o aumento da inflamabilidade da vegetação, afetada por diminutos índices pluviométricos (inferiores a 50 mm/mês) e umidade relativa do ar abaixo de 65% (Vasconcelos, 2012). Essas condições, aliadas à utilização frequente do fogo como instrumento de gestão agropecuária, favorecem o aparecimento de focos térmicos, ressaltando estados como Mato Grosso, Pará e Rondônia (Barlow et al., 2019; INPE, 2021).

Ao utilizar a análise de densidade Kernel, é possível notar uma conexão entre os locais mais quentes de incêndios e as regiões com maiores taxas de desmatamento, especialmente na região conhecida como Arco do Desmatamento, que abriga as mudanças antrópicas mais drásticas na Amazônia. Nestes locais, os focos de calor costumam estar associados a ações como a grilagem de terras, a transformação de florestas em pastos e a implementação de métodos agrícolas de baixo nível de complexidade (Beuchle et al., 2023). Esta é uma abordagem de uso e

ocupação do solo que favorece a exploração intensiva dos recursos naturais, em detrimento de estratégias sustentáveis (Miranda et al., 2019; Alencar et al., 2019). A correlação temporal entre os focos de calor e os períodos trienais de avanço do desmatamento permite deduzir um padrão constante com a remoção da vegetação anterior à queima do material lenhoso restante.

No Arco do Desmatamento, as informações mais recentes indicam uma intensificação considerável da perda de florestas. Entre os anos de 2019 e 2021, a extensão desmatada atingiu 17.279 km², em um contexto marcado por um enfraquecimento institucional que prejudicou significativamente os mecanismos de fiscalização ambiental. A paralisação do Fundo Amazônia, a drástica redução das fiscalizações conduzidas pelo IBAMA e uma retórica governamental tolerante às infrações ambientais contribuíram para consolidar um ambiente de permissividade e impunidade (Abessa et al., 2019; Escobar, 2019). Distante de se limitar a um contexto administrativo, esse ambiente institucional impactou diretamente o aumento das pressões humanas sobre os ecossistemas florestais, agravando sua vulnerabilidade.

No Cerrado, observa-se uma tendência oposta ao padrão amazônico, com redução gradual das taxas de desmatamento ao longo do período analisado de 5.138 km² para 2.605 km². Esse comportamento pode estar relacionado à maior consolidação fundiária e à ocupação agrícola historicamente estabelecida, bem como à ausência de grandes extensões contínuas de vegetação nativa remanescente (Strassburg et al., 2017). Contudo, a persistência de focos de calor, sobretudo na porção norte do bioma e nas zonas de transição com a floresta amazônica, sugere que a região permanece exposta a riscos ambientais consideráveis, agravados por sua frágil proteção legal e institucional (Silva et al., 2021).

Na Amazônia Equatorial, que tradicionalmente tem sido menos impactada por ações de desmatamento, nos últimos três anos observamos uma alteração caracterizada pelo aumento expressivo das taxas de desmatamento e incêndios florestais. A abertura de novas frentes de pressão antrópica tem sido favorecida por fatores como a expansão de estradas, o avanço do garimpo ilegal e a ocupação desordenada de áreas remotas (Raisg, 2020). A escassa presença do Estado e a debilidade dos mecanismos de governança local agravam a situação, colocando em risco a integridade ecológica dessa sub-região (Da silva, 2025).

Esses processos não se explicam apenas por vetores antrópicos ou institucionais. Eventos climáticos extremos também têm desempenhado papel central na intensificação das queimadas e da degradação ambiental. Os episódios de El Niño, como os de 2010 e 2015, resultaram em secas prolongadas, redução da umidade do solo e aumento da inflamabilidade de

áreas tipicamente úmidas na Amazônia central (Jiménez-Muñoz et al., 2016; Aragão et al., 2018). Além de amplificarem a severidade dos incêndios, esses eventos comprometeram o transporte de umidade continental, gerando impactos hidrológicos em outras regiões do país (Santos et al., 2017).

Em paralelo, a dinâmica econômica global exerce influência direta sobre a intensificação dessas pressões. A crescente demanda por commodities agrícolas, especialmente soja e carne bovina, impulsiona a expansão da fronteira agropecuária em áreas sensíveis. Em muitos casos, essas cadeias produtivas se beneficiam da fragilidade dos sistemas de fiscalização e de rastreabilidade, favorecendo práticas predatórias (Rajão et al., 2020). O resultado é uma externalização dos custos ambientais, sociais e sanitários para a coletividade, agravando desigualdades estruturais e fragilizando a sustentabilidade dos territórios.

Embora existam instrumentos legais e pactos setoriais voltados ao controle do desmatamento, sua efetividade depende de uma combinação de fatores como a capacidade institucional, estabilidade política e articulação entre os níveis federativos. O aumento dos focos de calor em áreas recém desmatadas evidencia falhas sistêmicas que requerem, com urgência, a reformulação dos arranjos de governança ambiental (Nepstad et al., 2014; Azevedo et al., 2021).

7193

Diante desse panorama, torna-se imprescindível o desenho e a implementação de políticas públicas que considerem as especificidades regionais. A proteção dos territórios indígenas, a ampliação das unidades de conservação e o incentivo a sistemas produtivos sustentáveis surgem como estratégias centrais. Estudos apontam que áreas protegidas, quando associadas à gestão comunitária e ao suporte técnico adequado, têm maior capacidade de frear o avanço do fogo e preservar a biodiversidade (Blackman et al., 2017; Nolte et al., 2013).

Os padrões espaciais e temporais identificados neste estudo oferecem subsídios relevantes para o fortalecimento da educação ambiental na Educação Básica, sobretudo nas regiões diretamente afetadas pelas queimadas e pelo desmatamento. A BNCC enfatiza a necessidade de articular conhecimentos científicos, leitura crítica do território e participação social, especialmente nos componentes de Ciências e Geografia, que abordam temas como clima, biomas, impactos ambientais e uso da terra (BNCC, 2018). Essa abordagem dialoga com a perspectiva da educação ambiental crítica, que defende a contextualização territorial e a compreensão integrada dos processos socioambientais (Loureiro, 2012; Jacobi, 2003). Ao trabalhar com dados reais provenientes da Amazônia Legal como séries históricas, mapas de

densidade de Kernel e recortes trienais de desmatamento as escolas têm a oportunidade de promover uma aprendizagem contextualizada, conectada às vivências dos estudantes e aos desafios socioambientais de sua própria região (Carvalho, 2021; Reigota, 2014).

A presença recorrente de fumaça durante a estação seca impacta diretamente o cotidiano escolar, reduzindo a qualidade do ar, intensificando quadros respiratórios em crianças e demandando adaptações no planejamento pedagógico. Essa problematização permite desenvolver atividades alinhadas à educação ambiental emancipatória, que estimula a análise crítica da realidade e a identificação de desigualdades e vulnerabilidades socioambientais (Sato, 2004; Sauvé, 2005).

A análise produzida neste estudo pode auxiliar docentes a desenvolver projetos interdisciplinares que integrem leitura e interpretação de gráficos, análise de mapas, debates sobre governança ambiental e reflexão crítica sobre o avanço da fronteira agrícola, fortalecendo competências previstas na BNCC e na literatura especializada (Carvalho, 2021; Loureiro, 2012). Essas práticas contribuem para formar estudantes capazes de compreender a complexidade dos fenômenos socioambientais, reconhecer a relação entre queimadas, saúde e mudanças no uso da terra, e atuar como sujeitos informados e participativos em suas comunidades.

Além disso, os produtos cartográficos e estatísticos gerados permitem que a escola trabalhe habilidades relacionadas à argumentação científica, ao pensamento espacial e ao uso de evidências para interpretar problemas ambientais contemporâneos elementos fundamentais para uma formação científica integrada e contextualizada (Jacobi, 2003; Sato, 2004). Dessa forma, os resultados deste estudo não apenas ampliam o entendimento sobre a dinâmica das queimadas e do desmatamento, mas também se configuram como ferramentas pedagógicas potentes para a construção de uma educação ambiental crítica e territorializada, comprometida com a leitura da realidade e a participação social (Carvalho, 2021; Sauvé, 2005).

CONCLUSÃO

Os achados deste estudo demonstram que a interação entre pressões antrópicas, vulnerabilidades institucionais e variações climáticas molda a distribuição dos focos de calor e o avanço do desmatamento na Amazônia Legal. A concentração de hotspots em áreas recém-convertidas e a expansão da fronteira agropecuária evidenciam a continuidade de processos que fragilizam a integridade ecológica da região e ampliam riscos socioambientais. Esses resultados reforçam que ações de conservação não podem ser isoladas: dependem de coordenação

federativa, fortalecimento de mecanismos de controle ambiental e políticas que incorporem as especificidades territoriais.

Ao mesmo tempo, o estudo evidencia o potencial dos dados geoespaciais como instrumentos de leitura crítica do território, especialmente no contexto da Educação Básica. A integração de mapas, séries temporais e análises espaciais no ensino de Ciências e Geografia favorece práticas pedagógicas alinhadas à BNCC e oferece aos estudantes recursos para compreender a complexidade dos fenômenos ambientais e sua relação com o cotidiano.

Assim, os resultados contribuem tanto para o debate sobre governança ambiental quanto para a construção de uma educação ambiental crítica, que articula conhecimento científico, participação social e formação cidadã.

REFERÊNCIAS

ABESSA DMS, et al. The systematic dismantling of Brazilian environmental laws risks losses on all fronts. *Nature Ecology & Evolution*, 2019; 3(4): 510–511.

ALENCAR A, et al. Desmatamento na Amazônia: pastagens, políticas públicas e perspectivas futuras. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2015.

ALENCAR A, et al. Desmatamento nos Assentamentos da Amazônia: histórico, tendências e oportunidades. IPAM, 2015.

ARAGÃO LEOC, et al. 21st century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 2018; 9: 536.

BARLOW J, et al. Clarifying Amazonia's burning crisis. *Global Change Biology*, 2019; 26(2): 319–321.

BLACKMAN A, et al. Titling indigenous communities protects forests in the Peruvian Amazon. *PNAS*, 2017; 114(16): 4123–4128.

BEUCHLE R, et al. Deforestation and forest degradation in the Amazon: Update for year 2022 and link to soy trade. Publications Office of the European Union, 2023.

BNCC. Base Nacional Comum Curricular. Ministério da Educação, 2018.

BRANDO PM, et al. Fire-induced tree mortality in a neotropical forest: the roles of bark traits, tree size, wood density, and fire behavior. *Ecology*, 2020.

CARVALHO ICM. Educação ambiental crítica: fundamentos e práticas. Cortez Editora, 2021.

ESCOBAR H. Bolsonaro's environmental policies threaten the Amazon, say scientists. *Science*, 2019; 363(6427): 111.

DA SILVA ASM. Desenvolvimento e qualidade de vida em territórios de baixa densidade: o caso de Cinfães. 2025.

DE MELLO NA. Políticas territoriais na Amazônia. Annablume, 2006.

DOS SANTOS RJ, DE CARVALHO LM. Pesquisas em educação ambiental no Brasil e os conflitos socioambientais: tendências e perspectivas. Revista Latinoamericana de Políticas y Administración de la Educación, 2025; 22: 108–122.

GONÇALVES VVC. Impactos socioambientais em áreas de várzea: transformações na paisagem pela perda de floresta na Amazônia Central. 2024.

INPE. Monitoramento do desmatamento da floresta Amazônica brasileira por satélite: Projeto PRODES. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021.

JIMÉNEZ-MUÑOZ JC, et al. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. Scientific Reports, 2016; 6: 33130.

JACOBI PR. Educação ambiental, cidadania e sustentabilidade. Revista Brasileira de Educação, 2003; 22: 39–52.

LOUREIRO CFB. Educação ambiental e movimentos sociais. Cortez Editora, 2012.

MIRANDA EE, MARTINHO PRR, CARVALHO CA. Uso do fogo na agricultura brasileira. Embrapa Monitoramento por Satélite, 2019.

MORTON DC, et al. Understorey fire frequency and the fate of burned forests in southern Amazonia. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2013.

NEPSTAD D, et al. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. Science, 2014; 344(6188): 1118–1123.

NOLTE C, et al. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. PNAS, 2013; 110(13): 4956–4961.

OLIVEIRA PJC, et al. Roads increase deforestation and fragmentation of the Brazilian Amazon forest. Environmental Research Letters, 2021; 16(9): 094036.

RAISG. Amazonia Under Pressure. Rede Amazônica de Informação Socioambiental Georreferenciada, 2020.

RAJÃO R, et al. The rotten apples of Brazil's agribusiness. Science, 2020; 369(6501): 246–248.

REIGOTA M. O que é educação ambiental. Editora Brasiliense, 2014.

SANT'ANNA AA, et al. Impact of wildfires on health in the Brazilian Amazon: a systematic review. Environmental Pollution, 2020.

SATO M. Educação ambiental: conceitos e caminhos. Editora Gaia, 2004.

SANTOS AB, et al. Forest degradation in the Amazon region: the role of fire and climatic conditions. *Environmental Research Letters*, 2017; 12(9): 095005.

SANTOS RP. Os principais fatores do desmatamento na Amazônia (2002–2007): uma análise econométrica e espacial. 2010.

SILVA JMC, et al. The shrinking of Brazilian conservation units. *Biological Conservation*, 2021; 257: 109101.

SOBREIRA FG, et al. Wildfires and their toll on Brazil: who's counting the cost? *Perspectives in Ecology and Conservation*, 2025; 23(1): e01234.

SAUVÉ L. Uma cartografia das correntes da educação ambiental. *Pesquisa em Educação Ambiental*, 2005; 3(2): 11–37.

STRASSBURG BBN, et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 2017; 1: 0099.

VASCONCELOS SS. Padrões e fatores associados à ocorrência de focos de calor na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 2012; 5(5): 1023–1040.

RODRIGUES FRD, et al. Estudo da relação entre queimadas e atividades de mineração licenciadas na Amazônia Legal. 2021.

SCHWAMBORN TM. Expansão da fronteira agrícola, uso de agrotóxicos e riscos de exposição humana ao glifosato na região metropolitana de Santarém. 2020.